

PATENT

1c971 U.S. PTO

09/818637



IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re application of  
Gerald SANCHEZ et al.  
Serial No. (unknown)  
Filed herewith

METHOD AND DEVICE FOR PRODUCING  
A METALLIC COATING N AN OBJECT  
EMERGING FROM A BATH OF MOLTEN  
METAL

CLAIM FOR FOREIGN PRIORITY UNDER 35 U.S.C. 119  
AND SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENT

Assistant Commissioner for Patents

Washington, D.C. 20231

Sir:

Attached hereto is a certified copy of applicants'  
corresponding patent application filed in France on March 28,  
2000 under No. 00 03881.

Applicants herewith claim the benefit of the  
priority filing date of the above-identified application for  
the above-entitled U.S. application under the provisions of 35  
U.S.C. 119.

Respectfully submitted,

YOUNG & THOMPSON

By

\_\_\_\_\_  
Benoît Castel  
Attorney for Applicants  
Registration No. 35,041  
745 South 23rd Street  
Arlington, VA 22202  
Telephone: 703/521-2297

March 28, 2001



JC971 U.S. PTO  
09/818637  
03/28/01

# BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

## COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 06 MARS 2001

Pour le Directeur général de l'Institut  
national de la propriété industrielle  
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE

SIEGE  
26 bis, rue de Saint Petersburg  
75800 PARIS cedex 08  
Téléphone : 01 53 04 53 04  
Télécopie : 01 42 93 59 30  
<http://www.inpi.fr>



Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 540 W / 250899

REMISE DES PIÈCES DATE <b>28 MARS 2000</b> LIEU <b>75 INPI PARIS</b> N° D'ENREGISTREMENT <b>0003881</b> NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE <b>28 MARS 2000</b> PAR L'INPI		<b>1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE</b> À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE  PONTET ALLANO & ASSOCIES SELARL 25 rue Jean Rostand Parc Club Orsay Université 91893 ORSAY CEDEX	
<b>Vos références pour ce dossier</b> (facultatif) IFBOO DPR ECG			
<b>Confirmation d'un dépôt par télécopie</b> <input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie			
<b>2 NATURE DE LA DEMANDE</b>		<b>Cochez l'une des 4 cases suivantes</b>	
Demande de brevet		<input checked="" type="checkbox"/>	
Demande de certificat d'utilité		<input type="checkbox"/>	
Demande divisionnaire		<input type="checkbox"/>	
<i>Demande de brevet initiale</i> <i>ou demande de certificat d'utilité initiale</i>		N° _____ Date ____ / ____ / ____ N° _____ Date ____ / ____ / ____	
Transformation d'une demande de brevet européen <i>Demande de brevet initiale</i>		<input type="checkbox"/> N° _____ Date ____ / ____ / ____	
<b>3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)</b> Procédé et dispositif pour réaliser un revêtement métallique sur un objet sortant d'un bain de métal fondu			
<b>4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ</b> <b>OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE</b> <b>LA DATE DE DÉPÔT D'UNE</b> <b>DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE</b>		Pays ou organisation _____ N° _____ Date ____ / ____ / ____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date ____ / ____ / ____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date ____ / ____ / ____ <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
<b>5 DEMANDEUR</b>		<input type="checkbox"/> S'il y a d'autres demandeurs, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
Nom ou dénomination sociale		DELOT PROCESS	
Prénoms			
Forme juridique		Société à responsabilité limitée	
N° SIREN			
Code APE-NAF			
Adresse	Rue	ZA Les Bordes 10 rue Gustave Madiot	
	Code postal et ville	91070	BONDOUFLE
Pays		FRANCE	
Nationalité		Française	
N° de téléphone (facultatif)			
N° de télécopie (facultatif)			
Adresse électronique (facultatif)			

Réservé à l'INPI

REMISE DES PIÈCES

DATE

**28 MARS 2000**

LIEU

**75 INPI PARIS**

N° D'ENREGISTREMENT

NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI

**0003881**

DB 540 W / 260899

**Vos références pour ce dossier :**

*(facultatif)*

IFB00 DPR ECG

**6 MANDATAIRE**

Nom

Prénom

Cabinet ou Société

PONTET ALLANO & ASSOCIES SELARL

N° de pouvoir permanent et/ou  
de lien contractuel

Adresse

Rue

25 rue Jean Rostand  
Parc Club Orsay Université

Code postal et ville

91893 ORSAY CEDEX

N° de téléphone *(facultatif)*

01.69.33.21.21

N° de télécopie *(facultatif)*

01.69.41.95.88

Adresse électronique *(facultatif)*

**7 INVENTEUR (S)**

Les inventeurs sont les demandeurs

☐ Oui

☒ Non

Dans ce cas fournir une désignation d'inventeur(s) séparée

**8 RAPPORT DE RECHERCHE**

Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)

Établissement immédiat  
ou établissement différé

☒

☐

Paiement échelonné de la redevance

Paiement en trois versements, uniquement pour les personnes physiques

☐ Oui

☐ Non

**9 RÉDUCTION DU TAUX  
DES REDEVANCES**

Uniquement pour les personnes physiques

☐ Requête pour la première fois pour cette invention *(joindre un avis de non-imposition)*

☐ Requête antérieurement à ce dépôt *(joindre une copie de la décision d'admission pour cette invention ou indiquer sa référence)*

Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite»,  
indiquez le nombre de pages jointes

**10 SIGNATURE DU DEMANDEUR  
OU DU MANDATAIRE**

(Nom et qualité du signataire)

Sylvain ALLANO (CPI 96 03 03)

VISA DE LA PRÉFECTURE  
OU DE L'INPI

DÉPARTEMENT DES BREVETS


26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 94 86 54

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° .1/1..  
(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W / 250899

<b>Vos références pour ce dossier</b> (facultatif)		IFB00 DPR ECG	
<b>N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL</b>		0003881	
<b>TITRE DE L'INVENTION</b> (200 caractères ou espaces maximum) Procédé et dispositif pour réaliser un revêtement métallique sur un objet sortant d'un bain de métal fondu			
<b>LE(S) DEMANDEUR(S) :</b>  DELOT PROCESS ZA Les Bordes 10 rue Gustave Madiot 91070 BONDOUFLE FRANCE			
<b>DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) :</b> (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).			
Nom		SANCHEZ	
Prénoms		Gérald	
Adresse	Rue	4 rue Lino Ventura	
	Code postal et ville	78180 MONTIGNY LE BRETONNEUX	
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom		DELOT	
Prénoms		José	
Adresse	Rue	Chemin de la Tabarderie	
	Code postal et ville	77570 CHATEAU LANDON	
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
<b>DATE ET SIGNATURE(S)</b> <b>DU (DES) DEMANDEUR(S)</b> <b>OU DU MANDATAIRE</b> (Nom et qualité du signataire)		Sylvain ALLANO (CPI 96 03 03) 	





" Procédé et dispositif pour réaliser un revêtement métallique sur un objet sortant d'un bain de métal fondu."

5

L'invention concerne un procédé pour réaliser un revêtement métallique sur un objet sortant d'un bain de métal fondu. L'invention concerne également un dispositif  
10 mettant en œuvre un tel procédé.

Elle trouve une application particulièrement intéressante dans le domaine de la fabrication de fil électrode pour électroérosion. A cet effet, on réalise d'abord un revêtement métallique, en zinc par exemple,  
15 sur un fil métallique, en cuivre ou en acier par exemple, puis on place le fil revêtu dans un four thermique de façon à obtenir une diffusion du zinc dans le fil métallique.

On peut également réaliser un revêtement en étain  
20 sur une âme en acier ou en cuivre, le produit obtenu étant destiné à subir des étapes de tréfilage.

L'invention peut aussi trouver des applications dans d'autres domaines tels que la réalisation de revêtement métallique en vue de protéger une âme non métallique  
25 comme une fibre optique par exemple.

Le principe général de fabrication de fil électrode pour électroérosion est largement décrit dans l'art antérieur, notamment dans les documents US-A-4 169 426 et EP-A-0 811 701 dans lesquels un fil conducteur traverse  
30 verticalement un bain de métal fondu puis subit un ensemble de traitement de façon à être tréfilé. Le procédé complexe et coûteux décrit dans le document US-A-4 169 426 concerne un pré-traitement de nettoyage du fil métallique avant que ce dernier traverse le bain de métal  
35 fondu et subisse un refroidissement rapide. Le document

EP-A-0 811 701 décrit deux électrodes en contact avec le fil métallique, respectivement en amont et en aval du bain de métal fondu, afin de chauffer par effet joule la partie du fil métallique comprise entre les deux  
5 électrodes en faisant circuler un courant par ces électrodes.

Une des caractéristiques majeures de la réalisation d'un revêtement est l'épaisseur de la couche périphérique obtenue. Des résultats théoriques liant l'épaisseur du  
10 revêtement à la vitesse de déplacement du fil métallique et aux propriétés hydrodynamiques du métal fondu ont notamment été établis par L. Landau et B. Levich dans un article référencé Acta Physicochimica U.R.S.S. Vol. XVII, No. 1-2, 1942 : "Dragging of a Liquid by a Moving Plate".  
15 Cet article présente une équation liant au premier ordre l'épaisseur du revêtement supposée constante à un nombre capillaire fonction des propriétés hydrodynamiques du métal fondu, et ce dans la mesure où le métal fondu est un liquide parfaitement mouillant et l'objet revêtu est  
20 une plaque.

Or, en se basant sur les résultats théoriques précédents, l'épaisseur obtenue est souvent trop importante pour des applications de revêtement dans lesquelles une fine épaisseur est souhaitée. Ainsi  
25 diverses formes d'essuyage, c'est-à-dire de réduction de l'épaisseur du revêtement formé, ont été proposées telles que des techniques d'essuyage pneumatique ( action de lames d'air formant une contre-pression sur la surface libre du produit métallurgique émergeant du bain  
30 liquide), des techniques d'essuyage mécanique ( action de rouleaux venant "lécher" le produit métallurgique au moyen de tampons en amiante) et, enfin, des techniques d'essuyage magnétique, la présente invention relevant de cette dernière catégorie.

Les techniques d'essuyage magnétique mettent en œuvre les forces de Lorentz développée dans le liquide de recouvrement par un champ magnétique, statique ou alternatif, fixe ou glissant. L'action du champ magnétique sur un métal liquide est connue et notamment  
5 décrite dans le document US-A-4 324 266. Ce document divulgue un dispositif pour réaliser le confinement d'un jet de métal liquide en créant une surpression au moyen d'une bobine entourant le jet et parcourue par un courant  
10 alternatif dont la fréquence est inférieure à une valeur donnée. D'une façon générale, de nombreuses techniques d'essuyage magnétique sont comprises dans l'état de la technique, notamment le brevet EP 0 720 663 B1 de la présente demanderesse dans lequel un inducteur, disposé  
15 autour d'un canal de sortie du bain de métal fondu, produit un champ électromagnétique transverse, alternatif de fréquence peu élevée, et glissant, le déplacement du produit galvanisé se faisant selon un axe horizontal. Le dispositif ainsi réalisé permet de déterminer les  
20 conditions pour lesquelles les longueurs de Couette associées à l'écoulement du liquide de recouvrement respectivement dans l'enceinte et dans son canal de sortie restent inférieures aux valeurs critiques au-delà desquelles les écoulements deviennent nettement  
25 turbulents. Ces conditions impliquent un dimensionnement précis dans l'enceinte renfermant le métal liquide et permettent, dans le cas du drainage horizontal, de maintenir le métal fondu à l'intérieur du canal de sortie. Le contrôle de l'épaisseur est réalisé selon une  
30 formule analogue à celle utilisée dans le modèle hydrodynamique de Landau et Levich dont les références sont citées ci-dessus. Cependant, la méthode décrite dans ce document EP 0 720 663 B1 ne peut pas concerner des produits de faible épaisseur car par construction  
35 l'inducteur possède un entrefer trop important pour que

le champ glissant créé par cet inducteur puisse agir efficacement sur ces produits.

Le document US-A-4 228 200 décrit un procédé de réglage du revêtement métallique sur un fil sortant  
5 verticalement d'un bain de métal fondu. Le réglage de l'épaisseur est obtenu au moyen d'un dispositif à bobine unique créant un champ électromagnétique alternatif, fixe de très faible fréquence, appliqué au point de sortie ou en dessous du point de sortie du fil. Le champ  
10 électromagnétique ainsi créé expulse le métal fondu depuis la zone de la densité de flux la plus élevée vers des zones d'une densité de flux inférieure. Pour régler l'épaisseur du revêtement, on modifie l'amplitude des forces électromagnétiques exercées par le champ engendré  
15 par le dispositif électromagnétique. Cependant, comme on le voit sur les figures 3A et 3B du document US-A-4 228 200, le dispositif sature pour une fréquence au delà de 300 Hertz par exemple. Le champ magnétique créé n'influence plus l'épaisseur du revêtement. En outre  
20 cette saturation doit fortement dépendre du type de métal utilisé puisque chaque métal possède un niveau de saturation différent.

On connaît une méthode d'essuyage magnétique développée par M. Malmendier, J-F. Noville et S. Wilmotte  
25 du Centre de Recherches Métallurgiques (CRM) de Liège, et divulguée dans les " Conferences Proceedings" sous le titre "Amélioration du contrôle de la charge du zinc dans le processus de galvanisation au trempe", pages 407-412, 27-29 mai 1997. Cette méthode met en œuvre un champ  
30 magnétique, créé à partir d'un courant alternatif, agissant sur l'épaisseur du revêtement déjà formé. Cependant la méthode présentée nécessite la mise en œuvre de puissances importantes et implique une trop grande élévation de température du revêtement.

La présente invention vise à remédier aux inconvénients précités et a pour objet un procédé pour réaliser un revêtement dans lequel l'épaisseur du revêtement est réglée de façon précise en prenant en  
 5 compte l'ensemble des paramètres intervenant à la réalisation de ce revêtement.

Un autre objet de l'invention est la réalisation d'un revêtement de faible épaisseur, typiquement de l'ordre du micromètre sur des objets de petite dimension  
 10 tout en consommant peu d'énergie et en limitant l'élévation de température du revêtement.

La présente invention a encore pour objet un dispositif dans lequel l'enceinte renfermant le bain de métal fondu est convenablement dimensionnée de façon à  
 15 permettre un réglage efficace de l'épaisseur du revêtement quelque que soit le type de drainage de l'objet (vertical, oblique ou horizontal).

On atteint les objectifs précités avec un procédé pour réaliser un revêtement métallique sur un objet  
 20 sortant d'un bain de métal fondu, dans lequel on crée au voisinage du point de sortie de l'objet un champ magnétique. Selon l'invention, l'objet sort du bain de métal fondu à travers un canal de sortie contenant un ménisque dudit bain de métal fondu, et on règle  
 25 l'épaisseur du revêtement métallique en fonction d'une dérivée seconde de la courbe du ménisque et d'un nombre capillaire  $Ca$  représentant le rapport entre des forces visqueuses du métal fondu et des forces de tension superficielle à la surface du métal fondu.

30 Cette caractéristique peut être représentée sous la forme d'une équation :

$$\boxed{e_0 \cdot \varphi_{zz} = 1,3 Ca^{\frac{2}{3}}},$$

$e_0$  est l'épaisseur,  $\phi_{zz}$  la dérivée seconde du ménisque et  $z$  l'axe de défilement.

L'objet devant être revêtu peut avantageusement être produit longiligne à section constante tel qu'un fil  
 5 du type fil métallique ou fibre optique, ou une plaque.  
 Pour une plaque de faible épaisseur, on considère la forme du ménisque sur les grands côtés.

Avec un tel procédé, l'invention présente un avantage par rapport aux documents de l'art antérieur car  
 10 elle exprime l'épaisseur en fonction des éléments physiques représentés dans la dérivée seconde et dans le nombre  $Ca$  qui est explicité ci-dessous.

Les propriétés du revêtement, notamment son épaisseur, résultent d'une compétition entre  
 15 principalement quatre types de forces :

- les forces de gravité, proportionnelles à  $\rho g$ ,  $\rho$  étant la masse volumique du métal fondu, et  $g$  l'accélération de la pesanteur;
- les forces de viscosité, proportionnelles à  $\mu V$ ,  $\mu$   
 20 étant la viscosité dynamique du métal fondu, et  $V$  la vitesse caractéristique du déplacement de l'objet par rapport au métal fondu;
- les forces de tension superficielle, proportionnelles à  $\gamma$ ,  $\gamma$  étant la tension  
 25 interfaciale entre le métal fondu et l'air; et
- les forces de répulsions d'origine électromagnétique entre un inducteur parcouru par un courant alternatif et le métal fondu, ces  
 30 forces sont proportionnelles à  $\frac{C_f B_0^2}{2\mu_0}$ ,  $B_0$  étant le champ magnétique,  $\mu_0$  la perméabilité magnétique du métal fondu, et  $C_f$  un coefficient tel que

$$C_f = 1 - \frac{1 - e^{-\sqrt{R_\omega}}}{\sqrt{R_\omega}}, \text{ avec un paramètre d'écran } R_\omega =$$

$\mu\sigma\omega l^2$ ,  $\sigma$  conductivité du métal,  $\omega$  pulsation, et  $l$  une dimension caractéristique de la géométrie, telle que le rayon "r" pour un fil et la longueur capillaire "a" pour une plaque.

5 Le nombre capillaire Ca représente le rapport entre les forces de viscosité et les forces de tension superficielle :  $Ca = \frac{\mu V}{\gamma}$ .

Selon un mode de mise en œuvre de l'invention, lors d'un drainage vertical vers le haut, le canal de sortie  
10 est dimensionné de façon à maintenir le ménisque du métal fondu dans des conditions proches de l'équilibre capillo-gravitaire sous champ magnétique. Dans ces conditions, la dérivée seconde de la courbe dudit ménisque est fonction d'un paramètre de formage électromagnétique K  
15 représentant le rapport entre les forces de tension superficielle et les forces dues à l'effet de formage électromagnétique :  $K = \frac{2\mu_0\gamma}{C_r B_0^2 l}$ .

Dans ce cas de drainage vertical vers le haut, et pour une plaque, l'expression de la dérivée seconde peut  
20 être la suivante :

$$\varphi_{zz} = \frac{1}{aK \cos^3 \theta_e} \sqrt{1 + 2K^2(1 - \sin \theta_e)}$$

avec, "a" : la longueur capillaire (valeur connue)  
25  $a = \sqrt{\frac{\gamma}{\rho g}}$ , et  $\theta_e$  : l'angle aigu à l'intersection du sommet du ménisque avec la paroi de l'objet à revêtir.

Dans le cas d'un fil, l'expression de la dérivée seconde peut être la suivante :

$$\varphi_{\pm} = \frac{Bd.\lambda_2 + \frac{1}{K} - \cos\theta_e}{1,3 * r * \cos^3 \theta_e}$$

r est le rayon du fil;  $\lambda_2$  est tel que  $r * \lambda_2$  égal la hauteur du ménisque  $l_2$ ,  $\lambda_2$  est de préférence obtenu par calcul numérique; et Bd est un nombre de Bond  
 5 représentant le rapport entre des forces de gravité et des forces de tension superficielle :  $Bd = \frac{\rho g r^2}{\gamma}$ .

Il est ainsi possible de déterminer avec précision l'épaisseur du revêtement  $e_0$ .

Ces équations sont établies dans le cas d'un  
 10 drainage vertical vers le haut et dans la mesure où on est proche de l'équilibre capillo-gravitaire sous champ électromagnétique dans lequel les forces de pesanteur et de formage électromagnétique sont compensées par les forces de tension superficielle.

15 On peut réaliser le canal de sortie de telle sorte que la distance annulaire est de l'ordre de la hauteur du ménisque, la distance annulaire étant la distance entre la paroi interne du canal de sortie et le revêtement métallique formé hors du ménisque. Dans le cas d'une  
 20 plaque, la hauteur  $l_2$  du ménisque peut être obtenue à partir de l'expression suivante :

$$l_2 = \frac{a}{K} \left( \sqrt{1 + 2K^2(1 - \sin\theta_e)} - 1 \right)$$

Selon une variante de l'invention, lors d'un drainage vertical vers le bas, la dérivée seconde de la  
 25 courbe dudit ménisque est fonction :

- du rapport entre l'épaisseur moyenne dudit objet et l'ouverture du canal de sortie; et
- du rapport entre la vitesse d'Alfen et la vitesse de drainage dudit objet.



La vitesse d'Alfen  $U_A$  est donnée par l'expression

$$: U_A = \frac{\sqrt{C_f \cdot B_0}}{\sqrt{\mu_0 \rho}}. \quad \text{Dans cette première variante selon}$$

l'invention, une expression de la dérivée seconde de la courbe du ménisque dans le cas d'un fil par exemple peut

5 être la suivante :  $\varphi_{..} = \frac{1}{R1} \left[ 2 + \left( \frac{R1}{R0} \right)^4 \cdot \left( 1 + \frac{U_A^2}{\alpha V_0^2} \right) \right]$  avec R1 rayon

du fil, R0 rayon de l'ouverture du canal de sortie,  $V_0$  la vitesse de défilement du fil, et  $\alpha$  un terme traduisant l'influence de l'écoulement de Couette et égal à :

$$\frac{1}{2} \left[ \frac{1 - \left( \frac{R1}{R0} \right)^2}{\ln \left( \frac{R1}{R0} \right)} - 2 \left( \frac{R1}{R0} \right)^2 \right].$$

10 Selon un mode de mise en œuvre de l'invention, on réalise le canal de sortie de telle sorte que le ratio du rapport entre l'épaisseur moyenne dudit objet et l'ouverture du canal de sortie est supérieur ou égal à 0,8 pour ne pas déployer des champs intenses.

15 Dans le cas d'un fil circulaire, l'épaisseur moyenne est le diamètre. Dans le cas d'un fil non circulaire, l'épaisseur moyenne est une valeur estimée.

Une particularité de la présente invention est d'éviter l'influence de la gravité. Ainsi, contrairement  
20 à certains procédés de l'art antérieur qui créent un champ magnétique agissant dans la couche de revêtement déjà formée, le champ magnétique selon l'invention agit directement sur le ménisque.

Suivant l'invention, le champ magnétique peut être  
25 alternatif stationnaire, et on peut avantageusement le créer au moyen d'un inducteur plat. On peut utiliser un inducteur du type "Pancake".

L'invention est ainsi remarquable par le fait que le champ magnétique crée n'est actif que sur une faible

hauteur du métal fondu formant le revêtement. Ainsi l'élévation de la température du revêtement due au champ magnétique est avantageusement faible par rapport, par exemple, au procédé proposé par le Centre de Recherches  
 5 Métallurgiques de Liège cité ci-dessus.

En effet, à titre de comparaison, en utilisant les formules établies par le Centre de Recherches Métallurgiques, dans les conditions suivantes :

- pour une épaisseur visée de 10  $\mu\text{m}$ ,
- 10 - pour une vitesse de ligne de 60 m/min,
- dans le cas d'un mouillage total,  $\theta_e = 0$ , on obtient une intensité de champ magnétique  $B_0 = 0.71\text{T}$  et une élévation de température de  $\Delta T \cong 100^\circ\text{C}$  par la méthode du Centre de Recherches Métallurgiques.

15 Avec les mêmes conditions que ci-dessus, le procédé selon l'invention permet d'obtenir :  $B_0 = 0.078\text{T}$  et  $\Delta T \cong 7^\circ\text{C}$ .

De préférence, le champ magnétique est créé au moyen d'un courant alternatif dont la fréquence est telle que  
 20 le rapport entre la longueur capillaire et l'épaisseur de peau magnétique dans le revêtement métallique est supérieur ou égal à trois.

Selon une autre variante de l'invention, dans le cas d'un drainage horizontal avec un canal de sortie  
 25 contenant un ménisque obtenu en appliquant un champ glissant dans le bain de métal fondu, la dérivée seconde de la courbe du ménisque est fonction d'un nombre de Bond  $Bd$  représentant le rapport entre des forces de gravité et les forces de tension superficielle :  $Bd = \frac{\rho g l^2}{\gamma}$ . Dans

30 cette seconde variante, on se sert avantageusement des enseignements tirés du document EP 0 720 663 B1.

Selon une caractéristique avantageuse de l'invention, on utilise des moyens de pression ou de pompage électromagnétique du métal fondu pour maintenir

l'altitude du ménisque dans le canal de sortie, ceci permettant de compenser la consommation continue du métal fondu dans la réalisation dudit revêtement.

L'invention concerne également un dispositif pour  
5 réaliser un revêtement métallique sur un objet sortant d'un bain de métal fondu. Le dispositif comprend des moyens pour créer un champ magnétique au voisinage du point de sortie dudit objet. Le dispositif peut comprendre un canal de sortie contenant un ménisque dudit  
10 bain de métal fondu, ainsi que des moyens pour régler l'épaisseur du revêtement métallique en fonction d'une dérivée seconde de la courbe du ménisque et d'un nombre capillaire  $Ca$  représentant le rapport entre des forces visqueuses du métal fondu et des forces de tension  
15 superficielle à la surface du métal fondu.

D'autres avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront à l'examen de la description détaillée d'un mode de mise en œuvre nullement limitatif, et des dessins annexés sur lesquels :

- 20 - la figure 1 est une vue en coupe simplifiée d'une enceinte contenant un métal fondu et traversée verticalement par un fil métallique, le métal fondu pouvant être déplacé au moyen d'un gaz;
- la figure 2 est une vue en coupe simplifiée  
25 d'une enceinte contenant un métal fondu et traversée par un fil métallique, le métal fondu pouvant être déplacé au moyen d'un piston;
- la figure 3 est une vue en coupe simplifiée d'une  
30 enceinte composée de deux sous enceintes dont l'une est traversée par le fil métallique, le métal fondu pouvant être déplacé au moyen de pompes électromagnétiques;
- la figure 4 est une vue en coupe simplifiée  
35 identique à celle de la figure 1, mais avec un canal de sortie dirigé verticalement vers le bas;

- la figure 5 est une vue schématique du ménisque dans le canal de sortie; et
- la figure 6 est un graphe représentant l'épaisseur du revêtement en fonction des nombres sans dimension ( $Ca$ ,  $Bd$  et  $K$ ) sous forme de nappes.

En se référant plus particulièrement à la figure 1, le dispositif selon l'invention comprend une enceinte 1 composée d'une façon générale de deux volumes 1a et 1b dont les faces supérieures sont alignées. Le premier volume 1a, jouant le rôle d'un réservoir, est de forme parallélépipédique rectangle. Ce réservoir 1a alimente par un couloir ascendant le second volume 1b de hauteur plus petite et de longueur plus grande par rapport aux dimensions du premier volume. Le couloir d'alimentation est réalisé au moyen d'une barrière 8 verticale, de hauteur supérieure à celle du second volume 1b, fixée à la face supérieure du premier volume 1a de façon à laisser un passage par le fond du volume 1a vers le second volume 1b.

L'enceinte 1 contient un métal fondu 5 tel que par exemple du zinc ou de l'étain. Un canal d'alimentation 2 est disposé sur la face supérieure du premier volume 1a afin de réaliser une pression sur la surface 7 du métal fondu 5 au moyen d'un gaz injecté dans ce canal d'alimentation 2. La pression exercée par un gaz à travers le canal d'alimentation 2 permet de repousser le métal fondu du premier volume 1a vers le second volume 1b et de compenser ainsi la perte de métal fondu servant à la galvanisation. Cette galvanisation est opérée sur un fil métallique 4 en acier par exemple disposé verticalement dans le second volume 1b proche du bord extérieur. Des moyens de défilement externes (non représentés) permettent le déplacement vers le haut du fil métallique 4 qui pénètre dans le second volume 1b par

une face horizontale et ressort par un canal de sortie 3 disposé sur la face supérieure de ce volume 1b. Le canal de sortie 3 est de forme annulaire et est dimensionné de sorte que le métal fondu pénètre jusqu'à une certaine

5 hauteur en formant un ménisque 6. Le fil métallique 4 passe au centre du canal 3. Selon l'invention, un inducteur 9 plat de type "Pancake" est disposé autour du canal 3 au niveau du ménisque 6. L'inducteur 9 est alimenté par un courant alternatif de façon à créer un

10 champ magnétique alternatif stationnaire qui influence le métal fondu au niveau du ménisque 6. On utilise un inducteur plat car la hauteur minimale  $\Delta z$  de métal fondu au niveau du ménisque que le champ magnétique doit traverser pour que l'effet électromagnétique créé soit

15 achevé, est très faible.

A titre d'exemple, on considère la configuration suivante :

$V_0 = 1\text{m/s}$   $V_0$  étant la vitesse de déplacement du fil métallique;

20  $B_0 = 0,05\text{ T}$   $B_0$  étant l'intensité du champ magnétique;

$\rho = 7 \cdot 10^3\text{ kg/m}^3$   $\rho$  étant la masse volumique du métal fondu;

$R_0 = 4,3 \cdot 10^{-3}$   $R_0$  étant le rayon interne du canal de

25 sortie 3.

A partir de la formule  $\Delta z = \sqrt{2} \cdot R_0 \cdot V_0 \cdot \frac{\sqrt{\mu_0 \rho}}{B_0}$ , on obtient une hauteur d'environ 11,4 mm.

$\Delta z$  étant très faible, on peut donc utiliser avantageusement un inducteur plat pour un champ

30 magnétique alternatif. Ce champ magnétique induit une force de pression au niveau du ménisque 6. Le saut de pression entre le ménisque et l'air est donné par l'expression :

$$\Delta p = \frac{B^2}{2\mu_0} F\left(\frac{a}{\delta m}\right)$$

avec "a" la longueur capillaire,

$\delta m$  l'épaisseur de peau électromagnétique, et

F une fonction continue tendant vers zéro lorsque  
 5  $a/\delta m$  tend vers zéro, et tendant vers 1 lorsque  $a/\delta m$  est  
 supérieur ou égal à trois. Ainsi pour avoir une  
 efficacité maximale de la pression sur le ménisque 6, on  
 doit respecter au moins  $\frac{a}{\delta m} = 3$ , donc F maximale, égale 1.

A cet effet, pour le zinc dont la tension  
 10 superficielle  $\gamma = 0,75 \text{ Nm}$ , et  $\rho = 6900 \text{ kg/m}^3$ ,

on obtient  $a = 3,3 \text{ mm}$ , soit  $\delta m$  proche de  $1 \text{ mm}$ .

D'une part, ceci permet de déterminer  
 avantageusement la valeur de la fréquence du champ  
 magnétique, soit une valeur supérieure à  $100 \text{ kHz}$ .

15 L'invention est remarquable dans le sens que  
 l'élévation de température  $\Delta T$  du fil métallique due à  
 l'action du champ magnétique est ici minimisée, ceci  
 étant en partie dû au fait que le bilan thermique  
 s'applique à une hauteur soumise au champ magnétique  $\Delta z$   
 20 très faible.

A titre d'exemple, en reprenant les valeurs ci-  
 dessus et en utilisant la formule :

$$\Delta T = \frac{B^2}{\mu_0 \sigma \delta_m} \frac{1}{\rho C_p} \frac{\Delta z}{R_1 V_0}$$

avec une conductivité électrique  $\sigma = 2 \cdot 10^6 \text{ } (\Omega \text{ m})^{-1}$ ,  
 25 et une capacité calorifique du fil métallique  $C_p = 500$   
 $\text{J/kgK}$ .

On obtient une élévation de température  $\Delta T$  proche de  
 $2.6^\circ \text{K}$ , ce qui très faible.

La figure 5 permet de visualiser certains paramètres  
 30 caractéristiques au niveau du ménisque. Ainsi on  
 distingue l'épaisseur  $e_0$  du revêtement formant une couche

périphérique autour du fil métallique 4. Lorsque le ménisque 6 atteint la largeur  $e_0$ , on définit à ce point un angle  $\theta_e$  qui varie en fonction du niveau du mouillage du métal fondu. La hauteur du ménisque est donnée par  
 5  $r\lambda_2$ . A partir de l'équation de l'épaisseur du revêtement

pour un fil métallique : 
$$\frac{e_0}{r} = \frac{1.3 \cos^3 \theta_e}{Bd \lambda_2 + \frac{1}{K} - \cos \theta_e} Ca^{\frac{2}{3}},$$
 on peut

établir une représentation des épaisseurs en fonction des nombres sans dimension définis plus haut : Ca (nombre capillaire), Bd (nombre de Bond) et K (paramètre de  
 10 formage électromagnétique). Cette courbe est représentée sur la figure 6 sous forme de nappes distinctes en fonction de Bd dans un espace tridimensionnel dont les repères sont  $1/K$ , Ca et  $e_0/r$ . Cette courbe peut servir d'abaque pour la réalisation de revêtement sur un fil.

15 Pour maintenir l'altitude du ménisque et éviter qu'il n'y ait plus de métal fondu dans le canal de sortie 3, on prévoit un dispositif externe pour injecter du gaz dans le volume 1a à travers le canal d'alimentation 2 et repousser le niveau 7 vers le bas en fonction de la  
 20 quantité de métal fondu consommée pour réaliser le revêtement.

Ce maintien du niveau du ménisque 6 peut également être réalisé au moyen d'un dispositif semblable à celui de la figure 1 mais en remplaçant le canal d'alimentation  
 25 de gaz 2 par un piston 10 plongeant dans le métal fondu 5 dans le volume 1a flanqué de parois verticales 11 et 12.

Le maintien du niveau du ménisque 6 peut encore être réalisé au moyen d'un dispositif tel qu'illustré sur la figure 3 dans lequel l'enceinte 1 comprend deux volumes  
 30 distincts 13 et 14 reliés simplement par un couloir 15 de faible section par rapport aux deux volumes. Le volume 14 est placé à une altitude supérieure au fond du volume 13 de sorte que le couloir 15, relié au fond du volume 13,

est incliné vers le haut pour se connecter au fond du volume 14. Le fil métallique 4 traverse verticalement de bas vers le haut le volume 11 en sortant par le canal de sortie 3 réalisé sur la face supérieure du volume 14.

- 5 Pour compenser la consommation du métal fondu, on a placé des pompes électromagnétiques 16 et 17 de part et d'autre du couloir 15 de façon à pomper le métal fondu vers le volume 14.

Enfin, la figure 4 illustre un dispositif semblable à celui de la figure 1, mais avec un canal de sortie 3 réalisé sur la face inférieure du volume 1b. Le sens de déplacement du fil métallique 4 est ici du haut vers le bas.

On a démontré que les formules obtenues pour la détermination de l'épaisseur du revêtement peuvent être utilisées dans des configurations de drainage vertical vers le haut ou vers le bas, de drainage horizontal et de drainage oblique.

L'invention décrite ci-dessus permet ainsi de régler de manière très précise et efficace avec une puissance nécessaire faible et une élévation de température également faible, l'épaisseur d'un revêtement métallique sur un objet dont le diamètre (ou l'épaisseur) peut être très faible. L'objet revêtu peut être, de façon non limitative, une plaque, un fil circulaire ou non, un tube rond, ovale ou carré.

Bien sûr, l'invention n'est pas limitée aux exemples qui viennent d'être décrits et de nombreux aménagements peuvent être apportés à ces exemples sans sortir du cadre de l'invention.



## REVENDICATIONS

1. Procédé pour réaliser un revêtement métallique sur un objet (4) sortant d'un bain de métal fondu (5), dans lequel on crée au voisinage du point de sortie de l'objet un champ magnétique, caractérisé en ce que l'objet sort du bain de métal fondu à travers un canal de sortie (3) contenant un ménisque dudit bain de métal fondu, et en ce qu'on règle l'épaisseur du revêtement métallique en fonction d'une dérivée seconde de la courbe du ménisque (6) et d'un nombre capillaire  $Ca$  représentant le rapport entre des forces visqueuses du métal fondu et des forces de tension superficielle à la surface du métal fondu.
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que, lors d'un drainage vertical vers le haut, le canal de sortie (3) est dimensionné de façon à maintenir le ménisque (6) du métal fondu dans des conditions proches de l'équilibre capillo-gravitaire sous champ magnétique, et en ce que la dérivée seconde de la courbe dudit ménisque (6) est fonction d'un paramètre de formage électromagnétique  $K$  représentant le rapport entre les forces de tension superficielle et les forces dues à l'effet de formage électromagnétique.
3. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'on réalise le canal de sortie de telle sorte que la distance annulaire est de l'ordre de la hauteur du ménisque, la distance annulaire étant la distance entre la paroi interne du canal de sortie et le revêtement métallique formé hors du ménisque.
4. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que, lors d'un drainage vertical vers le bas, la dérivée seconde de la courbe dudit ménisque (6) est fonction :

- du rapport entre l'épaisseur moyenne dudit objet et l'ouverture du canal de sortie (3); et
- du rapport entre la vitesse d'Alfen et la vitesse de drainage dudit objet.

5

5. Procédé selon l'une des revendications 1 et 4, caractérisé en ce qu'on réalise le canal de sortie de telle sorte que le ratio du rapport entre l'épaisseur moyenne dudit objet et l'ouverture du canal de sortie (3) est supérieur ou égal à 0,8.

10

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le champ magnétique est alternatif stationnaire, et est créé au moyen d'un inducteur plat (9).

15

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le champ magnétique est créé au moyen d'un courant alternatif dont la fréquence est telle que le rapport entre la longueur capillaire et l'épaisseur de peau magnétique dans le revêtement métallique est supérieur ou égal à trois.

20

8. Procédé selon la revendication 1, pour un drainage horizontal avec un canal de sortie contenant un ménisque obtenu en appliquant un champ glissant dans le bain de métal fondu, caractérisé en ce que la dérivée seconde de la courbe dudit ménisque (6) est fonction d'un nombre de Bond  $Bd$  représentant le rapport entre des forces de gravité et les forces de tension superficielle.

25

30

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'on utilise des moyens de pression sur le métal fondu pour maintenir l'altitude du ménisque dans le canal de sortie.

35

10. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'on utilise des moyens de pompage électromagnétique (16, 17) du métal fondu pour  
5 maintenir l'altitude du ménisque dans le canal de sortie.

11. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'objet est un produit longiligne à section constante.

10

12. Dispositif pour réaliser un revêtement métallique sur un objet (4) sortant d'un bain de métal fondu (5), comprenant des moyens pour créer un champ magnétique au voisinage du point de sortie dudit objet, caractérisé en  
15 ce qu'il comprend un canal de sortie (3) contenant un ménisque dudit bain de métal fondu, et en ce qu'il comprend en outre des moyens pour régler l'épaisseur du revêtement métallique en fonction de la dérivée seconde de la courbe du ménisque (6) et d'un nombre capillaire  $Ca$   
20 représentant le rapport entre des forces visqueuses du métal fondu et des forces de tension superficielle à la surface du métal fondu.

13. Dispositif selon la revendication 12, caractérisé en  
25 ce que, dans le cas d'un drainage vertical vers le haut, le canal de sortie est tel que la distance annulaire est de l'ordre de la hauteur du ménisque, la distance annulaire étant la distance entre la paroi interne du canal de sortie et le revêtement métallique formé hors du  
30 ménisque.

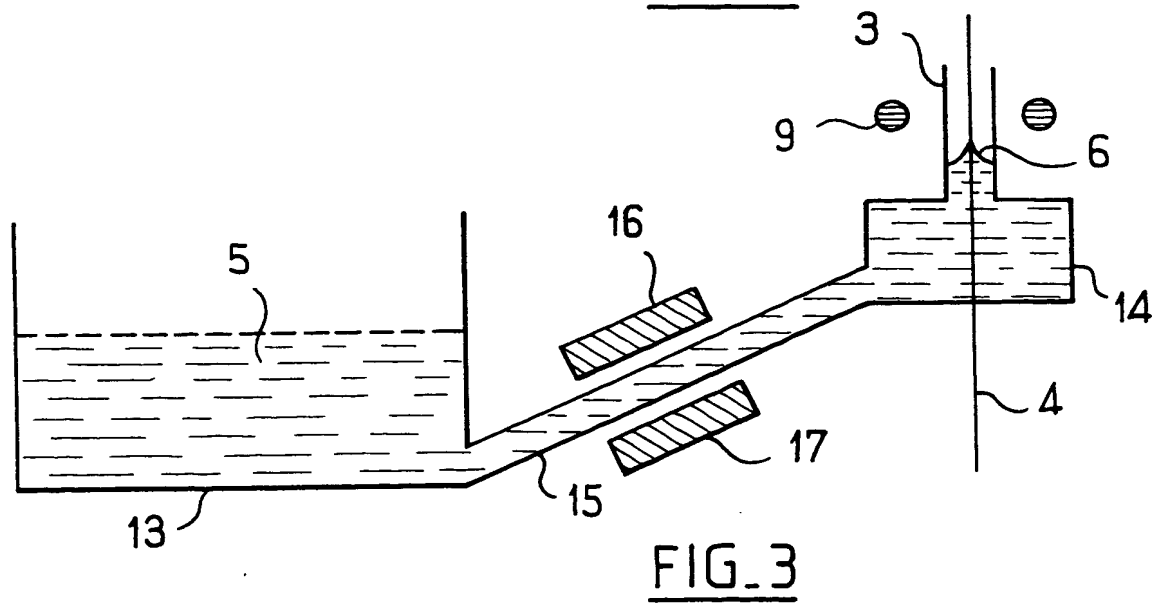
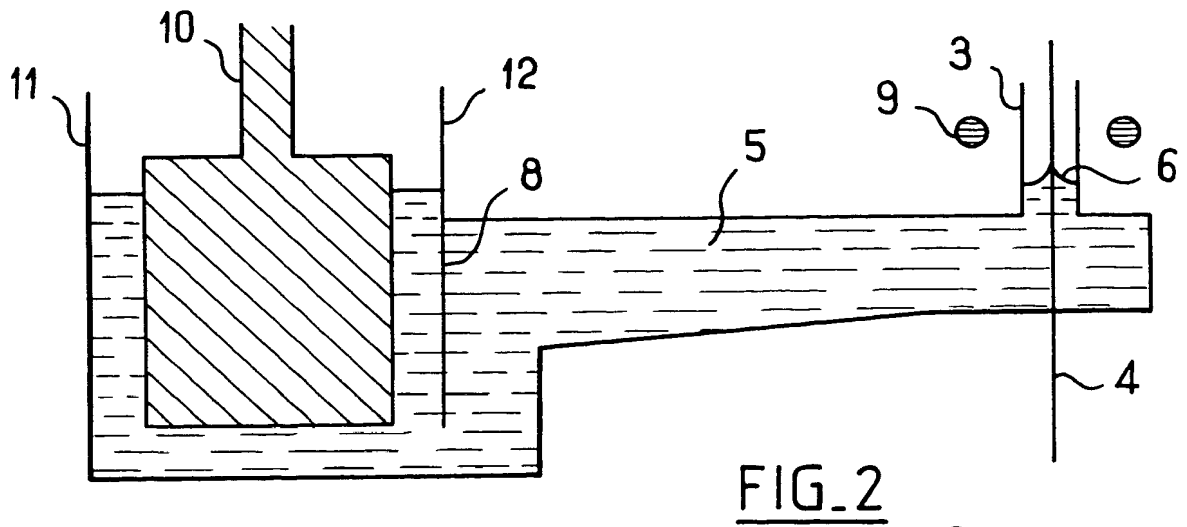
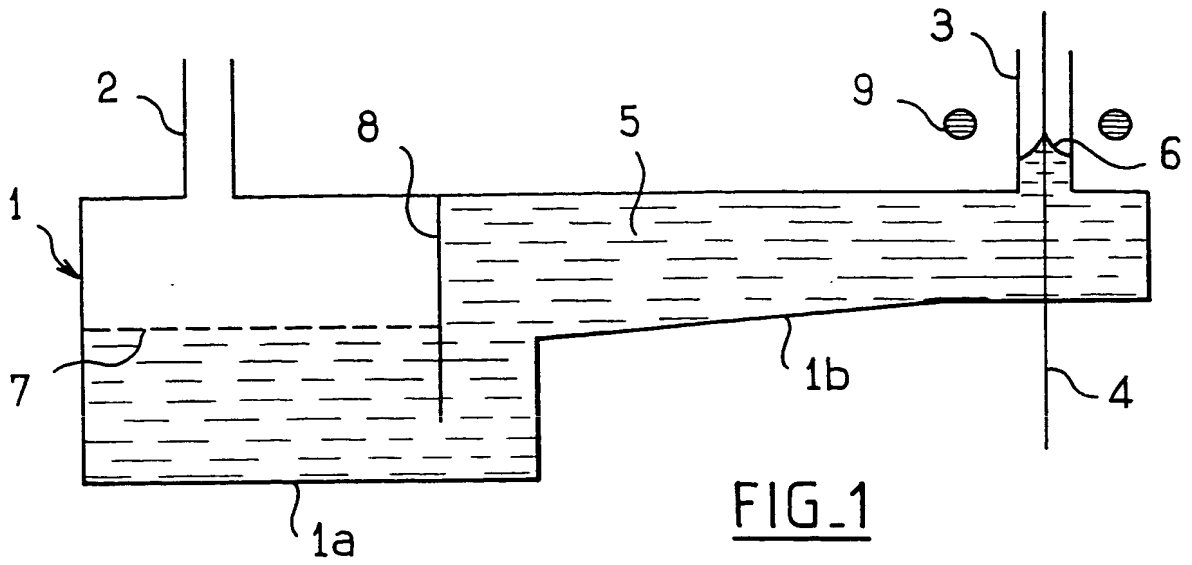
14. Dispositif selon la revendication 12, caractérisé en ce que, dans le cas d'un drainage vertical vers le bas, le canal de sortie est tel que le ratio du rapport entre

l'épaisseur moyenne dudit objet et l'ouverture du canal de sortie (3) est supérieur ou égal à 0,8.

15. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 5 12 à 14, caractérisé en ce que le champ magnétique est alternatif stationnaire et les moyens pour le créer comprennent un inducteur plat.

16. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 10 12 à 15, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens de pression (2, 10) du métal fondu de façon à maintenir l'altitude du ménisque dans le canal de sortie.

17. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 15 12 à 16, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens de pompage électromagnétique (16, 17) du métal fondu de façon à maintenir l'altitude du ménisque dans le canal de sortie.



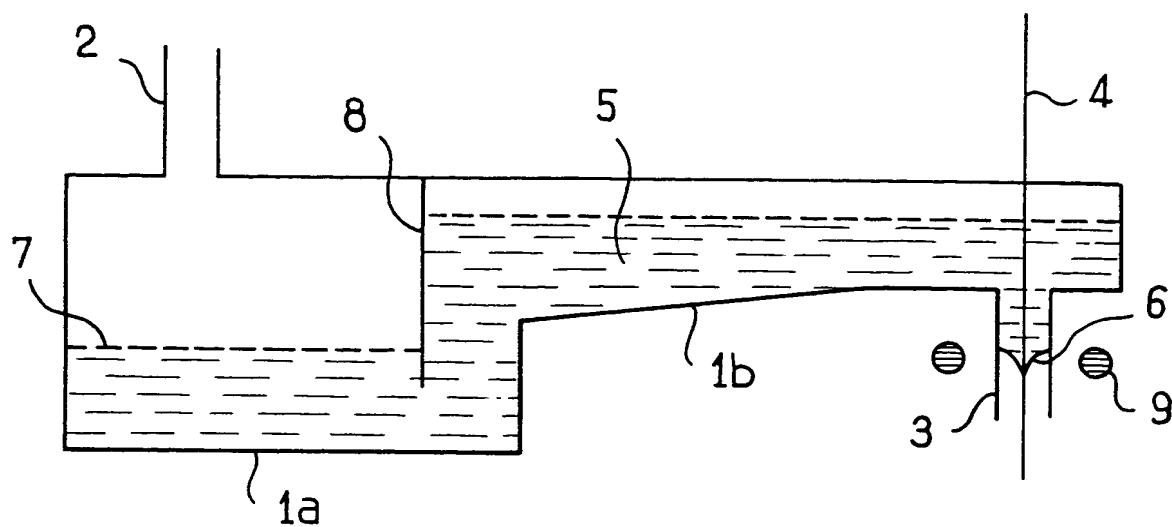


FIG. 4

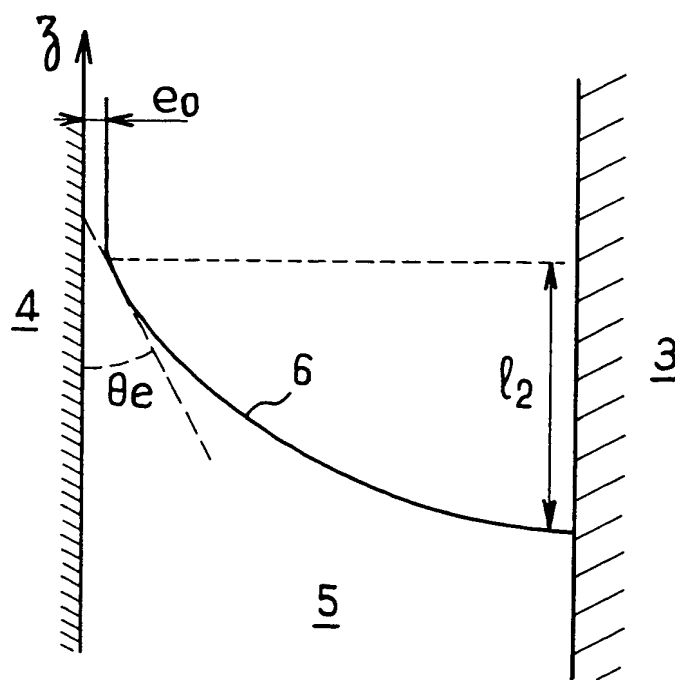


FIG. 5

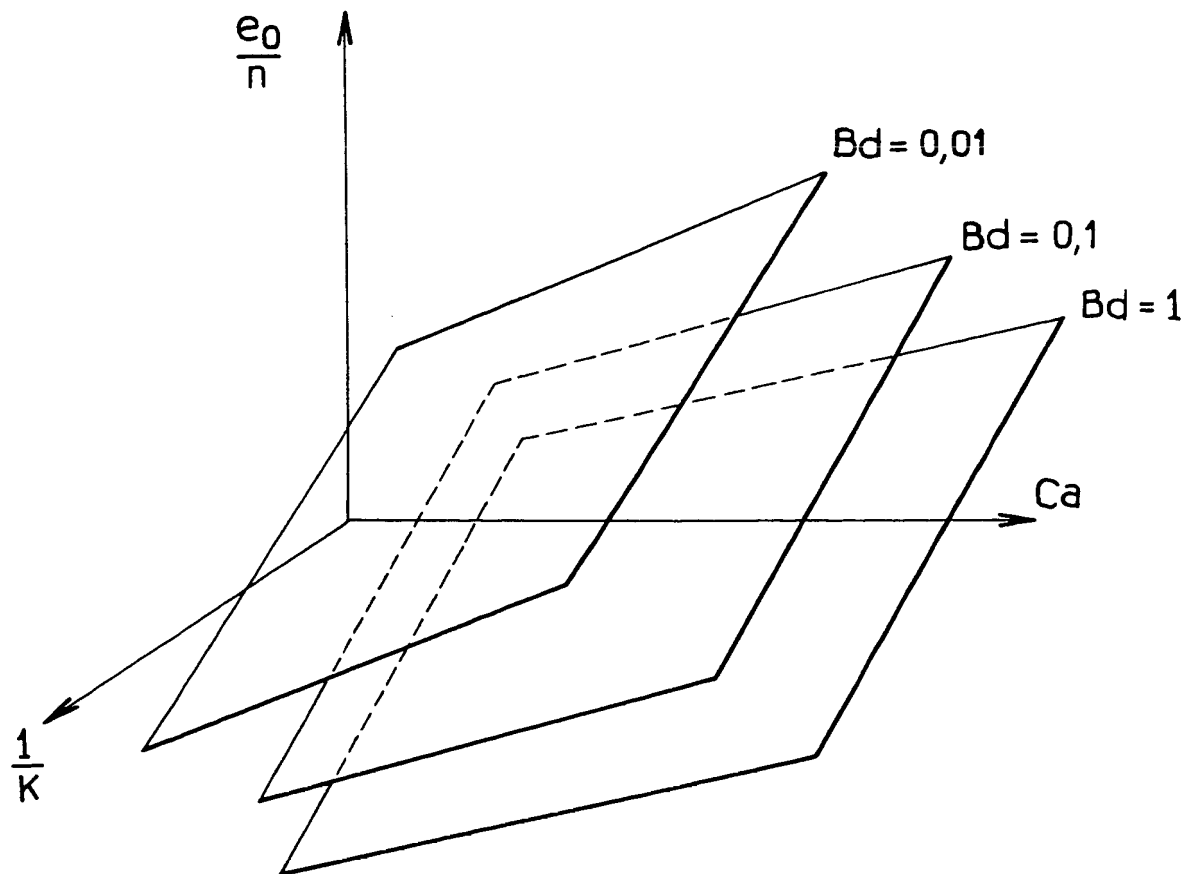


FIG. 6

**DOCUMENT FILED BY:**

**YOUNG & THOMPSON**

745 SOUTH 23RD STREET  
ARLINGTON, VIRGINIA 22202  
Telephone 703/521-2297